

## 烟酰胺对热应激奶牛血液中代谢产物的影响

孙先枝<sup>1,2</sup>, 郑楠<sup>2</sup>, 卜登攀<sup>3</sup>, 潘龙<sup>3</sup>, 秦俊杰<sup>4</sup>, 王秀敏<sup>4</sup>, 张幸开<sup>5</sup>, 袁耀明<sup>5</sup>, 程建波<sup>1,2\*</sup>

(1. 安徽农业大学动物科技学院, 合肥 230036;

2. 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 农业部奶产品质量安全风险实验室(北京), 北京 100193;

3. 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 动物营养学国家重点实验室, 北京 100193;

4. 北京市中兽药工程技术研究中心, 北京 102206;

5. 上海光明荷斯坦牧业有限公司, 上海 200443)

**摘要:** 本试验旨在研究烟酰胺对热应激奶牛血液中能量、脂类、蛋白质代谢产物以及血清中无机盐离子浓度的影响。试验选用 20 头健康的泌乳早期荷斯坦奶牛, 随机分为对照组和烟酰胺处理组; 对照组饲喂基础日粮, 烟酰胺处理组饲喂基础日粮加 8 g·d<sup>-1</sup> 烟酰胺; 预试期 1 周, 正式期 9 周。结果表明: (1) 添加烟酰胺显著降低( $P < 0.05$ ) 热应激奶牛血液中非酯化脂肪酸、甘油三酯、总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇浓度, 并有降低  $\beta$ -羟丁酸的趋势( $P = 0.1$ ), 但是对血清中葡萄糖、总蛋白、白蛋白以及尿素氮含量无显著影响( $P > 0.05$ ); (2) 日粮中添加烟酰胺显著提高了热应激奶牛血清中钠离子和氯离子浓度( $P < 0.05$ ), 有提高血清中钙离子浓度的趋势( $P = 0.10$ ), 但不影响钾、镁和磷离子含量( $P > 0.05$ )。因此, 补饲 8 g·d<sup>-1</sup> 烟酰胺, 有助于改善热应激奶牛的脂类代谢, 维持机体电解质平衡。

**关键词:** 烟酰胺; 热应激; 奶牛; 代谢产物

中图分类号: S823.91; S816.71

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2015)02-0218-05

### Effects of nicotinamide on blood metabolites of cows under heat stress

SUN Xianzhi<sup>1,2</sup>, ZHENG Nan<sup>2</sup>, BU Dengpan<sup>3</sup>, PAN Long<sup>3</sup>, QIN Junjie<sup>4</sup>,  
WANG Xiumin<sup>4</sup>, ZHANG Xingkai<sup>5</sup>, YUAN Yaoming<sup>5</sup>, CHENG Jianbo<sup>1,2</sup>

(1. School of Animal Science and Technology, Anhui Agricultural University, Hefei 230036;

2. Ministry of Agriculture-Milk Risk Assessment Laboratory, Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193;

3. State Key Laboratory of Animal Nutrition, Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193;

4. Beijing Engineering Research Center for Veterinary Drugs, Beijing 102206;

5. Shanghai Bright Holstan Co., Ltd., Shanghai 200443)

**Abstract:** The experiment was conducted to determine the effects of nicotinamide on the metabolism of carbohydrate, lipid, protein, and the ion chroma in serum of Chinese Holstein cows under the heat stress condition. Twenty healthy early lactation Holstein cows were randomly assigned to the control and nicotinamide supplementation group for a 10-week experimental period. Cows were fed with basic diet or basic diet plus 8 g·d<sup>-1</sup> nicotinamide in the control or nicotinamide group, respectively. The results were as follows. (1) The concentrations of nonesterified fatty acid, total triglyceride, total cholesterol, and low density lipoprotein cholesterol significantly decreased in the nicotinamide supplementation group ( $P < 0.05$ ) and the level of  $\beta$ -hydroxybutyric acid also showed the decreasing trend ( $P = 0.1$ ); however, supplemented with nicotinamide had no significant effect on the levels of serum glucose, total protein, albumin, and urea nitrogen; (2) Compared to the control group, the levels of sodium, calcium, and chloridion ion in serum significantly increased by nicotinamide supplementation, but no significant difference in the levels of potassium, magnesium, and phosphonium between the two groups was observed ( $P < 0.05$ ); therefore, nicotinamide supplementation at 8 g·d<sup>-1</sup> showed the best effect on improving the lipid metabolism and

收稿日期: 2014-03-25

基金项目: 中国农科院科技创新工程项目(ASTIP-IAS12), 安徽省教育厅自然科学基金(KJ2013A115)和高校博士点基金项目(20133418120002)共同资助。

作者简介: 孙先枝, 硕士。E-mail: knowingrml@163.com

\* 通信作者: 程建波, 副教授。E-mail: chengjianbofcy@163.com

maintaining the acid-base balance of lactating cows under heat stress.

**Key words:** nicotinamide; heat stress; cow; metabolite

当环境温度超过 25 °C 时, 奶牛易处于热应激状态, 引起食欲下降、产奶量减少<sup>[1]</sup>、代谢紊乱、机体抵抗力降低、疾病增加<sup>[2]</sup>等, 造成巨大的经济损失<sup>[3]</sup>。因此, 如何缓解奶牛热应激已成为人们研究的热点。

烟酰胺是一种结构简单、理化性质稳定的 B 族维生素, 在动物体内与核糖、磷酸、腺嘌呤形成辅酶 I 和辅酶 II 而参与体内脂类、碳水化合物和蛋白质的代谢<sup>[4]</sup>。烟酸又名尼克酸, 是一种具有清血脂特性的 B 族维生素, 临床上常被用来治疗高胆固醇血症、高甘油三酯血症和高脂蛋白血症等<sup>[5-6]</sup>。在动物体内, 烟酸可转变为具有生物活性的烟酰胺而发挥作用。有研究表明, 日粮中添加烟酸改善了围产期奶牛脂质代谢<sup>[7]</sup>, 降低甘油三酯和低密度脂蛋白胆固醇的浓度, 提高高密度脂蛋白胆固醇的浓度<sup>[8]</sup>; 提高经产奶牛血糖浓度, 降低血液中 BHBA、NEFA 和血清尿素氮含量<sup>[9-10]</sup>。目前, 多数研究集中在烟酸对热应激条件下泌乳中期奶牛上<sup>[11-14]</sup>, 而关于烟酰胺对热应激条件下泌乳早期荷斯坦奶牛的作用效果研究较少。因此, 本试验综合比较了前人在烟酸上的研究结果, 研究 8 g·d<sup>-1</sup> 的烟酰胺对热应激条件下泌乳早期荷斯坦奶牛物质代谢及血清中无机盐离子浓度的影响。

## 1 材料与方 法

### 1.1 仪器与试剂

试验选择产奶量 (37.16±1.46) kg、泌乳时间 (80±10) d、胎次 (1.9±0.4) 相同或相近的健康中国荷斯坦奶牛 20 头, 随机分成 A 和 B 2 组, 每组 10 头。A 为对照组, 饲喂基础日粮 (参照中国奶牛饲养标准<sup>[15]</sup>配制, 见表 1); B 为烟酰胺组, 饲喂基础日粮+8 g·d<sup>-1</sup> 烟酰胺。烟酰胺与精料拌匀分早晚 2 次饲喂。奶牛栓系饲养于同一栋牛舍, 采用先精后粗的饲喂方式, 每天饲喂 3 次 (06:00、13:30 和 20:00), 自由饮水。试验预试期 1 周, 正式期 9 周。试验期间, 采用喷淋和风扇相结合的方式给奶牛防暑降温。

### 1.2 牛舍温湿度测定

在牛舍的中间和两端, 距地面 1.5 m 处挂置温湿度仪, 于每天 06:00、14:00 和 22:00 测量 3 次牛舍温度和湿度, 并根据公式  $THI=0.81 \times T + (0.99 \times T - 14.3) \times RH + 46.3$ , 计算牛舍 THI (其中 T 和 RH

分别代表摄氏温度 °C 和相对湿度%)。

### 1.3 样品采集

试验期第 0 天、第 21 天、第 42 天和第 63 天于晨饲前尾静脉采血 2 份 (10 mL·份<sup>-1</sup>), 1 份加入肝素锂抗凝剂用于检测血液生化指标, 1 份不加抗凝剂, 4 °C 静置 1 h 后 3000 r·min<sup>-1</sup> 离心 10 min 分离血清, -40 °C 保存待测。

表 1 奶牛日粮组成及营养水平 (干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of basal diet of dairy cows (DM basis) %

项目 Item	含量 Content
成分 Ingredient	
苜蓿干草 Alfalfa hay	14.0
羊草 Chinese wildrye	8.7
玉米青贮 Corn silage	16.7
玉米 Corn	23.0
大麦 Barley	9.4
大豆粉 Soybean meal	7.4
棉籽粕 Cottonseed meal	3.4
酒糟 Dry distillers grains	3.7
菜籽粕 Rapeseed meal	3.4
棉籽 Cotton seed	8.3
磷酸氢钙 Dicalcium phosphate	0.54
食盐 Salt	0.49
碳酸氢钠 Sodium bicarbonate	0.64
预混料 Vitamin-mineral premix1	0.33
化学成分 Chemical composition (% of DM)	
干物质 DM	56.7
粗蛋白 CP	16.9
中性洗涤纤维 NDF	39.1
酸性洗涤纤维 ADF	22.5
钙 Ca	1.07
磷 P	0.48

注: (1) 每千克预混料中含有 Provided per kg of premix: VA 2,000,000 IU, VD 450,000 IU, VE 10,000 IU, Cu (as copper sulfate) 4,560 mg, Mn 4,590 mg, Zn (as zinc sulfate) 12,100 mg, Se 200 mg, I 270 mg, Co 60 mg.

(2) 泌乳净能根据各原料能量计算所得, 其余为实测值。NE<sub>L</sub> is calculated value according to ingredients energy, while others are measured values.

### 1.4 测定指标与方法

血液生化指标葡萄糖 (glucose, GLU)、非酯化脂肪酸 (nonesterified fatty acid, NEFA)、β-羟丁酸 (β-hydroxybutyric acid, BHBA)、总蛋白 (total protein, TP)、白蛋白 (albumin, ALB)、尿素氮 (blood urea nitrogen, BUN)、总甘油三酯 (total triglyceride, TG)、

总胆固醇 (total cholesterol, TC)、低密度脂蛋白胆固醇 (low density lipoprotein cholesterol, LDL-C) 采用日立 HITACHI17080 全自动生化分析仪测定; 血清中  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、P 和  $\text{Cl}^-$  浓度采用奥迪康 AC9000 电解质分析仪测定, 试剂盒购自中生北控生物科技股份有限公司。

### 1.5 统计分析

试验数据采用 SAS 9.2 软件中的 MIXED 模型进行分析, 进行 Duncan's 多重比较,  $P < 0.1$  表示有显著变化的趋势,  $P < 0.05$  表示差异显著,  $P < 0.01$  表示差异极显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 试验期间牛舍的温湿度指数

试验期牛舍的温湿度指数 (THI) 如图 1 所示, 牛舍早中晚的 THI 分别为 78.3 (从 73.9 到 80.8)、79.7 (从 74.7 到 83.3) 和 78.2 (从 72.3 到 81.7), 根据 Armstrong<sup>[16]</sup>报道可知, THI 小于 72 对奶牛无应激, 72~78 对奶牛会产生轻度热应激反应, 79~89 对奶牛会产生中度热应激反应, 90 以上时, 奶牛会产生严重热应激反应。由图 1 可知, 试验期间前 7 周奶牛处在中度热应激环境下, 后 3 周处在轻度热应激环境下。

### 2.2 烟酰胺对热应激奶牛血液代谢产物含量影响

烟酰胺对热应激奶牛血液代谢物质含量的影响

表 2 烟酰胺对热应激奶牛血液代谢产物浓度的影响

Table 2 Effects of nicotinamide on the contents of blood metabolites in heat-stressed cows

项目 Item	处理 Treatment		标准误 SEM	P value		
	对照组 Control	烟酰胺组 Nicotinamide		处理 Treatment	时间 Time	交互 Interaction
葡萄糖/ $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ GLU	2.35	2.30	0.07	0.58	<0.01	<0.01
游离脂肪酸/ $\text{mEq}\cdot\text{L}^{-1}$ NEFA	250.08 <sup>a</sup>	221.25 <sup>b</sup>	7.70	0.03	0.17	0.01
$\beta$ -羟丁酸/ $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ BHBA	0.76	0.66	0.03	0.10	0.08	<0.01
总蛋白/ $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ TP	81.32	81.80	0.91	0.80	0.62	0.66
白蛋白/ $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ALB	36.69	37.30	0.61	0.62	0.68	0.94
尿素氮/ $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ BUN	6.18	6.22	0.16	0.87	0.86	0.26
总胆固醇/ $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ TC	6.57 <sup>a</sup>	5.79 <sup>b</sup>	0.20	0.04	0.01	0.99
总甘油三脂/ $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ TG	0.15 <sup>a</sup>	0.13 <sup>b</sup>	0.004	0.03	0.19	0.33
低密度脂蛋白胆固醇/ $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ LDL-C	1.76 <sup>a</sup>	1.43 <sup>b</sup>	0.08	0.04	0.02	0.84

注: 同行数据肩标不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 不同大写字母表示差异极显著 ( $P < 0.01$ ), 无字母表示差异不显著 ( $P > 0.05$ )。下同。

Note: In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ( $P < 0.05$ ), and with different capital letter superscripts mean significant difference ( $P < 0.01$ ), while with no letter superscript means no significant difference ( $P > 0.05$ ). The same below.

## 3 讨论

### 3.1 烟酰胺对热应激奶牛血液代谢产物含量影响

血液中 GLU、NEFA 和 BHBA 与动物体内能量

见表 2。烟酰胺组的 NEFA、TC、TG 和 LDL-C 浓度显著降低 ( $P < 0.05$ ), BHBA 有降低的趋势 ( $P = 0.1$ ), 但 GLU、TP、ALB 和 BUN 含量均无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

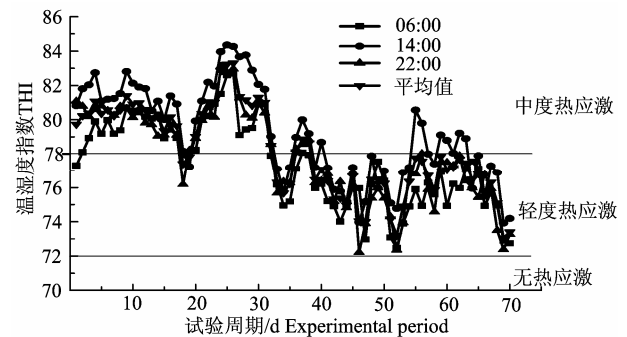


图 1 实验期牛舍温湿度指数

Figure 1 The temperature and humidity index in barn during experimental period

### 2.3 烟酰胺对热应激奶牛血清中无机盐离子浓度的影响

烟酰胺对热应激奶牛血清中无机盐离子浓度的影响见表 3。日粮中添加  $8 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$  的烟酰胺显著增加血清中  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  浓度 ( $P < 0.05$ ), 有提高  $\text{Ca}^{2+}$  浓度的趋势 ( $P = 0.1$ ), 但对  $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  和 P 浓度无显著影响 ( $P > 0.05$ )。

和脂肪代谢有关。研究发现, 烟酸有抗脂解抗生酮等作用, 能降低酮病牛血浆 BHBA 和 NEFA 浓度<sup>[17]</sup>。本试验给奶牛饲喂  $8 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$  烟酰胺能显著降低了热应激奶牛血液中的 NEFA 含量, 这与 Yuan 等<sup>[18]</sup>、

Titgenmeyer 等<sup>[19]</sup>研究的结果一致。烟酸能够通过合成辅酶 II 从而促进脂肪酸的合成和脂肪的沉积, 还可以抑制腺苷酸环化酶活性或激活磷酸二酯酶的活动, 减少腺苷酸环化酶, 并导致有活性的酯酶减少, 从而减慢脂肪组织中的脂解作用, 降低血清中的 NEFA<sup>[20]</sup>和 BHBA<sup>[21-22]</sup>的浓度。血液中游离脂肪酸的减少, 导致肝脏中极低密度脂蛋白的合成减少, 进一步降低低密度脂蛋白含量。另外, 烟酸能在辅酶 A 的作用下与甘氨酸合成烟尿酸, 从而阻碍肝细胞利用辅酶 A 合成胆固醇, 使血清中甘油三酯和胆固醇含量都有所降低<sup>[23]</sup>。低密度脂蛋白胆固醇由低密度脂蛋白和胆固醇结合而成, 本试验发现 8 g·d<sup>-1</sup> 的烟酰胺降低了血清中低密度脂蛋白胆固醇的含

量, 可能是由于烟酸降低了低密度脂蛋白和胆固醇含量而造成的。李建国等<sup>[23]</sup>的试验发现, 给泌乳早期奶牛饲喂 6 和 12 g·d<sup>-1</sup> 烟酸可以提高血糖含量; 但 Minor 等<sup>[24]</sup>的研究表明, 当奶牛饲料中含有大量的非纤维性碳水化合物时, 添加 12 g·d<sup>-1</sup> 烟酸对奶牛血清中葡萄糖浓度没有显著影响; Chilliard 等<sup>[25]</sup>的实验发现, 给泌乳中期的荷斯坦奶牛灌注 6 g·d<sup>-1</sup> 的烟酸, 对血浆中胰岛素的浓度没有显著影响。因此, 本研究发现给处于热应激条件下的泌乳中前期荷斯坦奶牛饲喂 8 g·d<sup>-1</sup> 的烟酰胺对其血液中葡萄糖浓度没有显著影响, 可能是因为饲料构成、动物的生理状态以及烟酸或烟酰胺的添加量不同而造成的。

表 3 烟酰胺对热应激奶牛血清无机盐离子浓度的影响

项目 Item	处理 Treatment		标准误 SEM	P value		
	对照组 Control	烟酰胺组 Nicotinamide		处理 Treatment	时间 Time	交互 Interaction
钠 Na <sup>+</sup>	137.90 <sup>b</sup>	139.59 <sup>a</sup>	0.42	0.03	0.72	0.12
钾 K <sup>+</sup>	3.48	3.37	0.12	0.73	0.07	0.03
钙 Ca <sup>2+</sup>	2.53 <sup>b</sup>	2.62 <sup>a</sup>	0.03	0.10	0.64	0.35
镁 Mg <sup>2+</sup>	1.14	1.13	0.02	0.77	0.62	0.80
磷 P	2.13	2.07	0.05	0.43	0.16	0.33
氯 Cl <sup>-</sup>	139.75 <sup>b</sup>	148.72 <sup>a</sup>	2.61	0.05	0.01	<0.01

### 3.2 烟酰胺对热应激奶牛血清中无机盐离子浓度的影响

热应激易导致动物体内血液电解质和酸碱平衡失调。在热应激条件下, 动物热喘息, 呼吸次数增加, 血液中 CO<sub>2</sub> 排出过多及 pH 升高。为了保持电解质平衡, 动物机体通过肾脏排出血液中的 Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup> 等离子来降低血液 pH, 引起血液中 Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup> 浓度下降。在热应激时, 肾上腺活动增强, 肾上腺素和皮质激素分泌增多, 肾上腺皮质分泌醛固酮增加。醛固酮具有保钠排钾的作用, 从而造成 Na<sup>+</sup> 的重吸收增强, K<sup>+</sup> 含量下降<sup>[26]</sup>; 此外, 饮水量和汗液排出量增加, 导致一些离子损失量增多。因此, 处于热应激状态的动物, 其血液中 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup> 等含量会有所下降<sup>[27]</sup>; 热应激使机体内酸碱平衡失调, 机体分泌大量有机酸, 可与 Ca<sup>2+</sup> 大量结合, 导致血清 Ca<sup>2+</sup> 浓度下降<sup>[28]</sup>。本试验中给热应激奶牛补饲烟酰胺显著升高了血清中 Na<sup>+</sup> 和 Cl<sup>-</sup> 的含量, 提高了血清中 Ca<sup>2+</sup> 的浓度, 说明烟酰胺能缓解热应激造成的酸碱平衡失调现象。

## 4 结论

热应激条件下, 给奶牛补饲 8 g·d<sup>-1</sup> 烟酰胺可以显著降低奶牛血清中 NEFA、BHBA、TC、TG 和 LDL-C 的含量, 有利于调节奶牛脂类代谢过程。

热应激条件下, 添加 8 g·d<sup>-1</sup> 烟酰胺对维持奶牛电解质平衡有积极作用。

## 参考文献:

- [1] West J W. Effects of heat-stress on production in dairy cattle[J]. Journal of Dairy Science, 2003, 86(6): 2131-2144.
- [2] Francois E, Roger P N, Peter J H. Interactions of heat stress and bovine somatotropin affecting physiology and immunology of lactating cows[J]. Journal of Dairy Science, 1992, 75(2): 449-462.
- [3] St-Pierre N R, Cobanov B, Schnikey G. Economic losses from heat stress by stress by US livestock industries[J]. Journal of Dairy Science, 2003, 86 (E Suppl.): E52-E77.
- [4] 韩永利, 李秋凤, 李建国. 烟酸对奶牛的营养作用[J]. 饲料博览, 2002(3): 33-34.
- [5] Aatschul R, Hoffer A, Stephen J D. Influence of nicotinic acid on serum cholesterol in man[J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 1955, 54: 558-559.

- [6] Brown M S, Goldstein J L. Drugs used in the treatment of hyperlipoproteinemias[M]//Goodman and Gilman's pharmacological basis of therapeutics. 8th ed. New York: Pergamon Press Inc, 1990: 874-896.
- [7] Yuan K, Shaver R D, Bertics S J, et al. Effect of rumen-protected niacin on lipid metabolism, oxidative stress, and performance of transition dairy cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 2012, 95(5): 2673-2679.
- [8] 马广兴. 烟酸与北京鸭生产性能和脂肪代谢关系的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006.
- [9] Zimmerman C A, Rakes A H, Daniel T E, et al. Influence of dietary protein and supplemental niacin on lactational performance of cows fed normal and low fiber diets[J]. *Journal of Dairy Science*, 1992, 75(7): 1965-1978.
- [10] Belibasakisay N G, Tsiegogiannib D. Effects of niacin on milk yield, milk composition, and blood components of dairy cows in hot weather[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1996, 64: 53-59.
- [11] 杨耐德, 高振华, 黄晓亮, 等. 烟酸对热应激条件下奶牛生产性能、血清离子浓度的影响[J]. *中国畜牧兽医*, 2010, 37(7): 21-23.
- [12] 杨耐德, 黄晓亮, 高振华, 等. 烟酸对热应激奶牛营养物质表观消化率及血清生化指标的影响[J]. *中国饲料*, 2010(12): 20-23.
- [13] Zimbelman R B, Baumgard L H, Collier R J. Effects of encapsulated niacin on evaporative heat loss and body temperature in moderately heat-stressed lactating Holstein cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 2009, 93: 2387-2394.
- [14] Zimbelman R B, Collier R J, Bilby T R. Effects of utilizing rumen protected niacin on core body temperature as well as milk production and composition in lactating dairy cows during heat stress[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2013, 180: 26-33.
- [15] 中华人民共和国农业部. NY/T 34-2004 中华人民共和国农业行业标准—奶牛饲养标准[S]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [16] Armstrong D V. Heat stress interaction with shade and cooling[J]. *Journal of Dairy Science*, 1994, 77(7): 2044-2050.
- [17] Pires J A A, Girard C I, Grummer R R. Plasma concentration of nicotinic acid and derivatives in response to abomasal infusions of nicotinic acid[C]. ADSA-ASAS Joint Annual Meeting, 2008: 483-484.
- [18] Yuan K, Shaver R D, Bertics S J, et al. Effect of rumen-protected niacin on lipid metabolism, oxidative stress, and performance of transition dairy cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 2012, 95(5): 2673-2679.
- [19] Titgemeyer E C, Spivey K S, Mamedova L K, et al. Effects of pharmacological amounts of nicotinic acid on lipolysis and feed intake in cattle[J]. *Journal of Dairy Science*, 2011, 6(2):134-141.
- [20] 杨赵军. 烟酸对奶牛的营养作用[J]. *中国饲料*, 1997(6): 20-21.
- [21] Dufva G S, Bartley E E, Dayton A D, et al. Effect of niacin supplementation on milk-production and ketosis of dairy-cattle[J]. *Journal of Dairy Science*, 1983, 66: 2329-2336.
- [22] 刘桂林, 王锦平, 渠乐明, 等. 烟酸对奶牛酮血症的调节作用[J]. *中国畜牧杂志*, 1994, 31(4): 31-35.
- [23] 李建国, 韩永利, 李秋凤, 等. 烟酸对高温环境中奶牛生产性能和血清生化指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2006, 18(3): 154-159.
- [24] Minor D J, Trower S L, Strang B D. Effects of nonfiber carbohydrate and niacin on periparturient metabolic status and lactation of dairy cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 1998, 81:189-200.
- [25] Chilliard Y, Ottou J F. Duodenal infusion of oil in midlactation cows. 7. Interaction with niacin on responses to glucose, insulin, and  $\beta$ -agonist challenges[J]. *Journal of Dairy Science*, 1995, 78: 2452-2463.
- [26] Bowen S J, Washburn K W. Thyroid and adrenal response to heat stress in chickens and quail differing in heart to learn[J]. *Poult Science*, 1985, 64: 149-154.
- [27] 邹胜龙, 冯定远. 动物热应激机理及其研究进展[J]. *广东饲料*, 2000, 9 (4): 20-23.
- [28] 刘庆华, 王根林. 热应激对奶牛血液流变学指标及血清无机盐离子浓度和酶活性的影响[J]. *福建农林大学学报*, 2007, 36(3): 284-287.